

## プロジェクト・研究成果の概要(1/2)

プロジェクト: 「既設橋梁における高力ボルト継手の実態調査と安全性評価及び点検、補修方法の検討に関する研究」	
プロジェクトリーダー ・氏名:山口隆司(やまぐち たかし) ・所属、役職:大阪市立大学大学院 教授	
研究期間: 令和元年10月～令和4年3月	
プロジェクト参加メンバー(所属団体名のみ) 大阪市立大学、京都大学、灌上工業株式会社、株式会社ズームスケープ	
プロジェクトの背景・目的(研究開始当初の背景、目標等) 鋼橋において高力ボルトがリベットに代わって本格的に使用されるようになったのは昭和40年頃からであるが、ボルト強度は F7T から始まり F13T まで高強度化された。しかし、遅れ破壊が生じたため、現在では F10T が基本として使用されている。一方、高力ボルト摩擦接合の設計および施工ではボルト導入軸力が重要事項として管理されている。高力ボルト適用の当初から、リラクゼーションによる軸力低下が知られており、ボルト締付け時に設計軸力に対して約 10%の増締めを行い、軸力低下をカバーしてきた。しかし、供用後 30 年から 50 年の鋼橋における高力ボルト軸力を調査したところ、設計軸力に対し約 30～50%の低下したものが発見された。調査した橋梁では見かけ上の変状は見られないものの、ボルト軸力低下は従来、一般的に認知されているリラクゼーションの影響を超えた量となっている。また、調査の中に F11T ボルトが含まれており、遅れ破壊により脱落しているボルトはないものの、亀裂が内在しており容易に折損するボルトが発見された。脱落しているボルトがないため、遅れ破壊が生じていないとされ、補修対象ではなかったことが推察される。 本研究は、鋼橋における高力ボルトの軸力低下の実態を把握し、想定を上回る軸力低下の原因を調べるとともに、供用中の橋梁における部材連結部の安全性を評価することを目的とする。さらに、高力ボルト継手の簡便な点検方法とすべり耐力回復を目指した補修方法の検討も行う。	
 <p>図 1:遅れ破壊が生じていた F11T の高力ボルト (塗装の付着により脱落しているボルトがないものの、亀裂が内在しており容易に折損するボルトを発見)</p>	
プロジェクトの研究内容(研究の方法・項目等) 1. 研究の進捗状況 現地調査業務および実橋ボルトサンプリング業務 近畿地方整備局から令和2年度発注予定の補修工事案件を選定していただき、全橋梁の現地調査を行った。その中から、橋梁形式・ボルト継手仕様・作業性・工程等を検討し、橋梁形式が同じで年代が異なる、同じ環境に建設された 2 橋の箱桁橋(G 橋・H 橋)を抜粋した。また、2 橋の詳細図面を取り寄せ、詳細な高力ボルトサンプリング位置を決定し抜き取り作業を行った[図1]。  【G 橋】 2020 年9月、供用中の G 橋における高力六角ボルトのサンプリング 99 本実施した。また、現場から持ち帰った高力ボルトの残存軸力を計測し、キャリブレーションの結果平均残存軸力は 77%であった。  【H 橋】 2020 年9月、供用中の H 橋におけるトルシア形高力ボルトのサンプリング 56 本実施した。また、現場から持ち帰った高力ボルトの残存軸力を計測し、キャリブレーションの結果平均残存軸力は 82%であった[図2]。 以上のサンプリング結果より以下の事が確認できた。 ・残存軸力の調査結果より、箱桁橋は鉸桁橋に比べ軸力低下率が高いこと明らかになった。 ・D 橋、G 橋ともに箱桁下フランジの耳の部分の出が 100mm 以内の橋梁については軸力低下率が極端に高いことがわかった。 ・同じ箱桁同士で残存軸力のバラツキが、六角高力ボルトでは変動係数が 38%トルシア形高力ボルトで 21%であった。これについては、ボルトの種類が関係していると考えられる。	
 <p>図 2 サンプリング対象橋梁</p>	
 <p>図 3 トルシア形高力ボルトのサンプリング状況</p>	

なお、最終年度となる本年度においては、メッキボルトおよび厚板である鋼製橋脚隅角部より、高力ボルトのサンプリングできる橋梁を提供していただき、引き続きサンプル数の確保を行う。

#### 高力ボルト摩擦継手の限界状態評価法の検討業務

1行6列(短冊型の継手)のFEM解析の結果、継手部に肌隙がある場合、高力ボルト軸力は母材の変形に吸収され、母材と添接板が密着するまで要求する軸力が導入されない。すなわち、接合面の肌ずきが解消されるまで、高力ボルト摩擦接合として性能を発揮せず、接触力も減少していることから所定のすべり耐力を発揮できない。これは被接合部材の板厚が大きく、拘束条件が厳しいほど顕著になることがわかった。

また、この場合、新たにボルトを締め付けることで既に締め付けを完了したボルトの軸力が低下することもわかった。

鉋桁よりも箱桁でボルト軸力低下が顕著となる理由を検討した結果、箱桁では、断面ねじり剛性が高く、製作および施工誤差により目違いがある場合、拘束が大きく、ボルト軸力が低下しやすい状態にあることが考えられる。そこで、本年度は、実物大箱桁下フランジに着目して解析モデルを作成した。解析ステップは全ボルトに対し、予備締めおよび本締めに再現したものであり、モデルチェックを通過している[図4]。

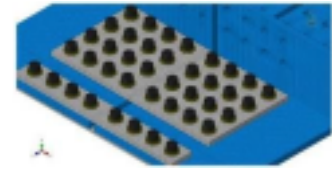


図4 FEM全断面モデル(作成中)

今後は上記の要因が高力ボルトに軸力変動に及ぼす影響について検討を行う。

#### 画像処理による軸力評価法の検討業務

前年度は、実験室レベルでのひずみゲージによる値と画像によるひずみの値について誤差が約20%あったが、本年度に画像領域設定値のプログラムを変更した結果、誤差は解消した。さらに、現場実測に向けて、現場を想定しモックアップによる画像計測実験を実施した。しかし、モックアップを使用した撮影実験を行ったことで、実験室と現場での課題と対策を確認した。

・実際の架設現場では、揺れる足場上で三脚を使用し、約1mの離れた位置から撮影するが、振動や障害物等により、従来撮影手法(被写体までの距離1m程度)は有効ではないことを確認し、新たに考案した近接マクロ撮影手法が適用可能であることを確認した。これにより、ボルト軸力計測に特化した近接マクロ撮影用の専用撮影機材と専用のソフトウェアを開発した[図5, 6, 7]。

・高力ボルト締め付けを、手締め、予備締め、本締めと行ったところ、最初と最後でボルト頭部の位置が回転するため、正確に画像の変化を捉えることができないことがわかった。これにより、高力ボルト締め付け前と後のボルトの回転に対する補正プログラムソフトを開発した[図8]。

・画像変位計測を利用することで、ボルト設置時の軸力推定を行うだけでなく、締め忘れや締め過ぎといった問題を発見できることがわかった。

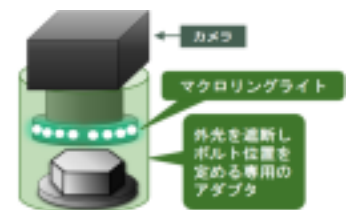


図5 近接用カメライメージ図

本年度においては、ソフトウェアはまだ試作段階であり、実利用を考えると使い勝手がよくないため、機能も性能も不十分である。現場において即座に軸力推定ができるようになるには、現場環境やの締め付け方法違い対応など、まだまだ多くの改良が必要であるため、よりの現場実証実験を重ね、問題点を抽出し、実際の現場で使える高力ボルト管理手法の省力化を検討する。



図6 実験室での遠隔撮影状況

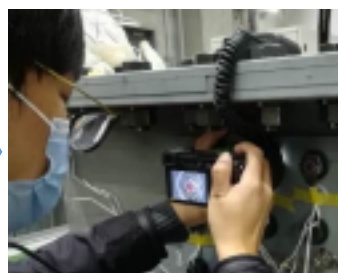


図7 現場を想定した近接撮影状況

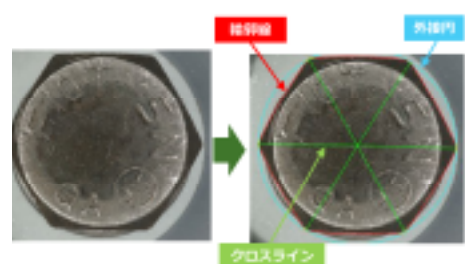


図8 回転補正プログラム

本様式は中間評価・事後評価を公表する際に、評価コメントと併せてホームページで公開します。本様式は成果報告書とともに、中間・事後評価の重要な判断材料となりますので、ポイントを整理し簡潔な表現とし、ポンチ絵などを用いてわかりやすく記述してください。